

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-75606

⑬ Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成3年(1991)3月29日

G 02 B 6/12

N

7036-2H

M

7036-2H

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全9頁)

⑮ 発明の名称 埋込み型石英系光導波路およびその製造方法

⑯ 特 願 平1-210714

⑰ 出 願 平1(1989)8月17日

⑱ 発 明 者 小 清 俊 海 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
⑲ 発 明 者 奥 野 将 之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
⑳ 発 明 者 安 光 保 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号  
㉒ 代 理 人 弁理士 兩 宮 正 季

# 明細書

## 発明の名称

埋込み型石英系光導波路およびその製造方法

## 特許請求の範囲

(1) 基板と前記基板上に設けられた石英系ガラスバッファ層と前記バッファ層上に設けられた矩形断面形状の石英系ガラスコア部と前記コア部を埋込むように設けられた石英系ガラスクラッド層とからなる埋込み型石英系光導波路において、前記クラッド層の軟化温度が前記バッファ層および前記コア部の軟化温度よりも200℃～450℃の範囲で低いことを特徴とする埋込み型石英系光導波路。

(2) 前記クラッド層組成は前記バッファ層組成およびコア層組成に比べてP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の少なくとも一方を合計量で4モル%～25モル%の範囲でより多く含有することを特徴とする特許請求の範囲第1記載の埋込み型石英系光導波路。

(3) 基板上に、バッファ層形成用ガラス原料ガスおよびコア層形成用ガラス原料ガスの火炎加水分解反応により順次バッファ層形成用ガラス微粒子層、コア層形成用ガラス微粒子層を堆積させ、しかる後、該ガラス微粒子層を基板ごと加熱透明化させバッファ層、コア層を形成し、続いて、コア層の不要部分をエッチングにより除去し、リッジ状のコア部とした後、クラッド層形成用ガラス原料ガスの火炎加水分解反応により、前記コア部を覆うようにクラッド層形成用ガラス微粒子層を堆積し、しかる後、該ガラス微粒子層を透明ガラス化させクラッド層とする埋込み型石英系光導波路の製造方法において、クラッド層形成用ガラス微粒子層の透明ガラス化温度が、バッファ層形成用ガラス微粒子層およびコア部形成用ガラス微粒子層の透明ガラス化温度より200℃～450℃の範囲で低くなるようバッファ層、コア層、およびクラッド層のガラス組成が調整されていることを特徴とする埋込み型石英系光導波路の製造方法。

## 発明の詳細な説明

## (発明の産業上利用分野)

本発明は、導波型光部品の一つである埋込み型石英系光導波路およびその製造方法に関するものである。

## (従来技術及び問題点)

石英基板、シリコン基板あるいはサファイア基板上に形成可能な石英系光導波路は、伝搬損失が低く、石英系光ファイバとの整合性の良いことから実用的な導波型光部品、光集積回路の実現手段として期待されている。第5図は、埋込み型石英系光導波路の従来の断面形状である。図中、(a)は単独の矩形導波路の断面形状であり、(b)は二本の矩形導波路の間隔を数ミクロンに接近させた方向性結合器の断面形状である。第5図において符号11は石英基板、シリコン基板あるいはサファイア基板、12bは石英系ガラスバッファ層、13cは石英系ガラスコア部、14は石英系ガラスクラッド層を意味している。

ールする必要があった。従って、これらの方法も火炎堆積法と同様に変形の問題が従来技術にはあった。

このような変形が単一モード光導波路に生じると、高次の伝搬モードが励振されることがあり、そのために導波損失が増大したり、光導波路と光ファイバとの接続損失が増大したりする。また、方向性結合器部では、第5図(b)のように導波路間隔やその形状が変わる。方向性結合器の結合率は光回路特性の主要なパラメータの一つであるが、この結合率は導波路の間隔や形状に主に依存している。それゆえ、作製した素子の方向性結合器部の導波路変形によりその結合率が設計値からずれ、所望の回路特性を得られない場合がある。また、変形を考慮した設計を行ない、それにより素子作製を行なうことも可能であるが、変形を考慮した回路設計には複雑な計算が必要であり、また、変形状態が必ずしも再現よく生ずるとは限らない。

このようにコア部変形は、光回路の設計を複雑

石英系ガラス膜を形成するには、基板上に原料ガスの火炎加水分解反応による石英系ガラス微粒子を堆積し、その後、そのガラス微粒子層を加熱により透明ガラス化する方法がある。以下、これを火炎堆積法と呼ぶ。第5図(a)のクラッド層14を数ミクロンから数百ミクロンの厚みで形成するには、火炎堆積法が有効である。しかし、従来技術では、クラッド層ガラス14を形成する際に、バッファ層ガラス12b、あるいは、コア部ガラス13cにおける軟化温度、組成および火炎堆積法におけるガラス微粒子膜の透明ガラス化温度への配慮がなされていなかったために、コア部13cに第5図(a)のような変形が生じていた。

また、火炎堆積法以外に石英系ガラスを形成する方法として、CVD法、PCVD法、スパッタ法などの低温プロセスを使う方法がある。これらの方法は膜を堆積したのみでは第5図(a)のような変形は生じない。しかし、これらの低温プロセスは本質的に緻密な膜を作製することが困難で散乱損失の低減、信頼性の向上のため高温でアニ

化し、作製した素子の歩止りを上げることを困難としている。

本発明は、上述の問題点に鑑みなされたものであり、このようなコア部の変形を防止した埋込み型石英系光導波路およびその製造方法を提供することを目的とする。

## (問題点を解決するための手段)

本発明を概説すれば、本発明の第一の発明は埋込み型石英系光導波路に関する発明であって、基板とその基板上に設けられた石英系ガラスバッファ層とその上に設けられた矩形断面形状の石英系ガラスコア部とそのコア部を埋込むように設けられた石英系ガラスクラッド層とからなる埋込み型石英系光導波路において、透明ガラス化温度がバッファ層およびコア部のガラス軟化温度よりも十分に低いクラッド層を包含することを特徴とする。

そして、本発明は前述のような埋込み型石英系光導波路の製造方法を含むものであり、基板上に、バッファ層形成用ガラス原料ガスおよびコア層形

成用ガラス形成原料ガスの火炎加水分解反応により順次バッファ層形成用ガラス微粒子層、およびコア層形成用ガラス微粒子層を堆積させ、しかる後、そのガラス微粒子層を基板ごと加熱透明化させバッファ層、コア層を形成し、続いて、コア層の不要部分をエッチングにより除去し、リッジ状のコア部とした後、クラッド層形成用原料ガスの火炎加水分解反応により、前記コア部を覆うようにクラッド層形成用ガラス微粒子層を堆積し、しかる後、そのガラス微粒子層を透明ガラス化させクラッド層とする埋込み型石英系光導波路の製造方法において、クラッド層形成用ガラス微粒子層の透明ガラス化温度が、バッファ層形成用ガラス微粒子層およびコア層形成用ガラス微粒子層の透明ガラス化温度より十分低くなるようバッファ層、コア層、およびクラッド層のガラス組成が調整されることを特徴とする。

すなわち、本発明の埋込み型石英系光導波路では、従来配慮されていなかったバッファ層、コア層、およびクラッド層のガラス軟化温度とコア部変形

との関係について発明者らが鋭意検討した結果から、クラッド層がバッファ層およびコア部に比較して、ガラス軟化温度が200℃～450℃低い石英系ガラスを使用することによって、矩形導波路の変形を防止した石英系光導波路を提供できることを見いだしたものである。

コア部の変形は、ガラスの熱処理温度でコア部ガラスの粘性が下がることにより生じる。さらにコア部変形は、バッファ層のガラスの粘性が下がることによるバッファ層上でのコア部の流動やバッファ層へのコア部の沈下によっても生じる。それゆえ、クラッド層ガラスの形成条件には、コア部変形を防止するための下限とクラッド層のひび割れ等防止するための上限を決める必要がある。

このため、クラッド層は、バッファ層およびコア部の軟化温度より200～400℃低くしてあるのである。後述の実施例1より明らかなように軟化温度差が200℃未満であると、コア部が第5図に示すように変形し、一方400℃を超えるとクラッド層にひび割れが生じたり、剥離を生

じる恐れがあるからである。

上述のような石英系ガラスの軟化温度を制御するために、ドーパントとして、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>および/またはB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を添加することが多い。

本発明者は、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をドーパントとして使用するときのドーパント含有量と上記本発明の埋込み型石英系光導波路との関係を検討した結果、クラッド層として、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の少なくともどちらか一方の全量が4モル%～25モル%多い石英系ガラスが好ましいことを見いだした。

前記のようなドーパントのP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>および/またはB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、石英ガラスの熱膨張係数を増加させるドーパントである。それゆえ、クラッド層の熱膨張係数が基板の熱膨張係数より大きくなるとクラッド層にひび割れが生ずることがあることから、クラッド層ガラスは基板の熱膨張係数より小さくなるようなガラスとなるように形成することが望ましい。

すなわち、ドーパントのP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>および/また

はB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の総量差が上限を超えると、クラッド層の剥離やひび割れが生じる恐れがあり、一方下限を超えると第5図に示すようなコア部の変形を生じる恐れがあるからである。

石英系ガラスの組成は、特にP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>やB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の組成において、放射化分析や化学分析により高精度に分析することができ、CVD法、スパッタ法や火炎堆積法により形成されたバッファ層、コア層およびクラッド層のガラス組成を高精度に知ることができる。それゆえ、ガラス形成条件と形成ガラスの組成との関係、およびガラス組成と軟化温度、火炎堆積法におけるガラス微粒子膜の透明ガラス化温度の関係を知ることができる。また、ガラス組成と軟化温度の関係は、幾つかのドーパントに対して良く知られており、形成条件とガラス組成の関係を知ることだけで、形成条件と軟化温度の関係づけができる。

ドーパントとしてP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のみを含有した石英系ガラスのドーパント総量とガラス軟化温度および透明ガラス化温度の関係を第4図に示

す。図中の実線Aは、ドーパントが $P_2O_5$ あるいは $B_2O_3$ のみの時の軟化温度を示している。この両実線の間の斜線領域は、ドーパント $P_2O_5$ と $B_2O_3$ 両者をドーパした場合の石英系ガラスの軟化温度の範囲を示している。同様に、実線Bとその間の斜線領域は透明ガラス化温度について示したものである。

軟化温度はガラス組成に対してほぼ一意的に決定することができる。しかし、透明ガラス化温度は、組成以外の堆積条件によってその絶対値が異なる場合がある。また、透明ガラス化温度の測定法やその基準の決め方により絶対値は変わることとなるが、バッファ層およびコア部とクラッド層のガラス微粒子膜の透明ガラス化温度の差の範囲は、本発明の範囲となる。

また、上述のようなガラス軟化温度差を達成した本発明の埋め込み型石英系光導波路を火炎堆積法で製造する場合、クラッド層を形成するガラス微粒子膜の透明ガラス化温度が $200^{\circ}C \sim 450^{\circ}C$ で低い石英系ガラス微粒子膜を透明ガラス化する

ことにより製造可能であることを見いだした。

また、火炎堆積法によって製造方法の場合、クラッド層用ガラス微粒子膜の透明ガラス化温度でコア部ガラスの粘性が下がることにより生じる。それゆえ、コア部の変形を防止するには、クラッド層の形成条件に対するバッファ層とコア部の両方の形成条件を満たす必要がある。

すなわち、火炎堆積法において本発明の光導波路を製造する場合には、ガラス微粒子膜の透明ガラス化温度差の上限を超えると、クラッド層の剥離やひび割れが生じ易くなり、一方下限未済であると、第5図のようなコア部の変形を生じる恐れがある。

#### (実施例1)

第1図は本発明の石英系光導波路の断面図(単一モード導波路用)である。(a)は単独の矩形導波路の断面図であり、(b)は二本の矩形導波路を数ミクロンの間隔で接近させた方向性結合器の断面形状を示している。図中、11はシリコン基

板、12bは石英系ガラスバッファ層、13cは石英系ガラスコア部、14は石英系ガラスクラッド層である。

バッファ層の厚みは $20\mu m$ 、コア部の断面形状は $6\mu m \times 6\mu m$ である。コア部とバッファ層およびクラッド層との屈折率差 $\Delta$ は0.7%に調節され、バッファ層とクラッド層の屈折率は一致している。クラッド層の膜厚は、 $30\mu m$ である。

第3図は、シリコン基板上にガラス微粒子を堆積する装置の一構成例を示す模式図である。21はターンテーブル、11はターンテーブル上に配置されたシリコン基板、23はテーブル駆動装置、28は排ガス処理装置、29は中央制御装置である。この装置は、原料ガス供給装置26からガラス微粒子合成トーチ24に $SiCl_4$ を主成分とするガラス原料ガスと酸・水素ガスを供給し、トーチ先端の酸水素炎中でのガラス原料ガスの火炎加水分解反応により、 $SiO_2$ を主成分とするガラス微粒子を合成し、これをターンテーブル上に配置されたシ

リコン基板上あるいはリッジ状の石英系光導波回路が形成された基板に堆積する。

第2図は本発明による石英系光導波路のクラッド層の製造方法の一例を説明するための工程図である。第2図において、符号11はシリコン基板、12aは石英系バッファ層形成用ガラス微粒子層、12bは石英系ガラスバッファ層、13aは石英系コア層形成用ガラス微粒子層、13bは石英系ガラスコア層、13cは石英系ガラスコア部、14は石英系ガラスクラッド層を意味する。

以下、工程順に条件を説明する。

(a) 基板11上に $SiCl_4$ を主成分とするガラス原料ガスの火炎加水分解反応によりバッファ層形成用ガラス微粒子層12a、 $TiO_2$ を主成分とするコア層形成用ガラス微粒子層13aを順次堆積する。

(b) そのガラス微粒子膜を基板とともに電気炉中にて $1350^{\circ}C$ で加熱し、バッファ層12b、コア層13bからなる石英系光導波膜とする。石英系ガラスバッファ層および石英系ガラスコア層は、

軟化温度を1300℃になるように形成している。

(c) コア層13bの不要部分を反応性イオンエッチングで除去し、リッジ状のコア部13cを形成する。

(d) コア部13cを覆うようにバッファ層と同等の屈折率を有する石英系ガラスクラッド層14を形成する。

クラッド層の形成は、再度、クラッド層形成用ガラス原料ガスを火炎加水分解反応によりクラッド層形成用ガラス微粒子層を堆積し、その後、それを電気炉中にて加熱しクラッド層14を形成する。クラッド層の軟化温度は、800℃～1200℃の範囲で形成を行なった。クラッド層の軟化温度が850℃～1100℃の範囲では、第1図の形状を有する導波路が形成される。クラッド層の軟化温度が800℃～850℃では、クラッド層ガラスにひび割れが生じたり、剥離が生じる場合がある。また、クラッド層の軟化温度が1150℃～1200℃では、第5図に示す導波路の形状変形が生じた。

クラッド層の軟化温度差を上限とする。

クラッド層のガラス微粒子膜の加熱温度が透明化温度以上では、導波路の損失はほぼ最小値となるが、バッファ層およびコア部とクラッド層のそれぞれの界面の不整合による散乱損失が若干存在し、これを緩和するのに加熱温度をクラッド層のガラス微粒子膜の透明化温度より50℃程度上げることが望ましい。そこでより低損失な導波路を形成するためには透明化温度差 $\Delta T$ を250℃以上にすれば変形がなく、低損失な導波路を形成するのに適している。加熱温度をクラッド層用ガラス微粒子膜の透明化温度に対して適温になり過ぎないように配慮することが望まれる。

また、クラッド層の形成条件を透明化温度差 $\Delta T$ が大きくなるよう設定した場合、バッファ層やコア部に比較してクラッド層には、軟化点を下げる $P_2O_5$ や $B_2O_3$ が多量にドーパされている場合がある。 $P_2O_5$ や $B_2O_3$ は石英ガラスの熱膨張係数を増加させるドーパントであり、数十モル%以上含んだガラス組成となる場合には、シリコ

本実施例では、バッファ層およびコア層とクラッド層の軟化温度差が本発明の範囲である200℃～450℃となるように形成することによりコア部に変形を与えることなく、かつ、バッファ層と屈折率を一致させたクラッド層を形成されている。

本実施例ではバッファ層とクラッド層の屈折率を一致させたが、バッファ層とクラッド層の屈折率の値が異なる条件でもコア部変形を生じさせずにクラッド層の形成が可能であった。

バッファ層とコア層あるいはコア層とクラッド層の比屈折率差 $\Delta$ に関わらず、コア部変形を生じさせずにクラッド層の形成は可能であった。

コア部のガラス軟化温度がバッファ層に比較して低温である場合には、コア部とクラッド層のガラスの軟化温度差を本発明の下限にし、バッファ層とクラッド層のガラス軟化温度差を上限にする。また、コア部のガラス軟化温度がバッファ層に比較して高温である場合には、バッファ層とクラッド層の軟化温度差を本発明の下限にし、コア層と

ン基板の熱膨張係数より大きくなることもあり、クラッド層にひび割れが生じることがある。先に述べたようにクラッド層用ガラス微粒子膜の加熱温度を透明化温度より50℃程度高くすることが望ましいが、 $\Delta T$ が450℃付近のガラス膜では、透明ガラス化温度より高温にした場合にクラッド層にかかる応力が増し、埋込み導波路形成後にヒート等の加工プロセスによりクラッド層にひび割れが生じることがある。従って、信頼性を考慮すると $\Delta T$ を400℃以下にすることが望ましい。また、 $P_2O_5$ や $B_2O_3$ は吸湿性のドーパントであることから、耐候性を劣化させることになることから、ガラス中の含有量を抑えることが望ましい。

本実施例では、バッファ層およびコア部のガラス微粒子膜の透明化温度差 $\Delta T$ を220℃に設定した。これらのことから、クラッド層の透明化温度差 $\Delta T$ を200℃～450℃となる条件で形成することにより、本発明による埋め込み型石英系光導波路が製造できることがわかった。すなわち、

コア部に変形を与えることなく石英系光導波路を形成できる。しかし、より一層の低損失化、信頼性の向上を考慮すると $\Delta T$ を250℃～400℃の範囲で形成を行なうことがより適している。

以上本実施例では火炎堆積法で作製した石英系光導波路について詳細に述べた。今まで述べたことから明らかなように本発明の本質は作製法によるものでなく、ガラスの物性（軟化温度差）に起因するものであることから、他の方法で作製した石英系光導波路についても同様である。そこで、バッファ層およびコア部のガラス膜を軟化温度が1300℃となるようにCVD法およびスパッタ法で形成し、本実施例と同様にクラッド層の形成を行なったが、本実施例と同様な結果となった。また、バッファ層とコア部のガラス膜の形成をスパッタ法、CVD法および火炎堆積法の組み合わせにより形成を行なったが、本実施例と同様な結果となった。

#### (実施例2)

を形成されている。

本実施例ではバッファ層とクラッド層の屈折率を一致させたが、バッファ層とクラッド層の屈折率の値が異なる条件でもコア部変形を生じさせずにクラッド層の形成が可能であった。バッファ層とコア層あるいはコア層とクラッド層の比屈折率差 $\Delta$ に関わらず、コア部変形を生じさせずにクラッド層の形成は可能であった。

コア部のガラス組成とクラッド層のガラス組成の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量がクラッド層とバッファ層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差に比べ少ない場合には、コア部とクラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差を本発明の下限にし、バッファ層とクラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差を上限にする。また、コア部とクラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差がクラッド層とバッファ層の総量差に比較して多い場合には、バッファ層とクラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差を上限とする。

バッファ層およびコア部のガラス膜を軟化温度が1300℃となるようにCVD法およびスパ

実施例1と同じ構造を有し、同じ製造プロセスによりバッファ層とコア層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量が4モル%となるようにリッジ型の石英系光導波路を火炎堆積法により形成した。クラッド層は、 $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量が6モル%から32モル%の範囲で形成を行なった。

前記クラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量が8モル%から29モル%の範囲では、第1図の形状を有する導波路が形成される。

クラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量が29モル%を超えて32モル%まででは、クラッド層ガラスのひび割れが生じたり、剥離が生じる場合がある。前記クラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量が6モル%から8モル%未満では、第5図に示す導波路の形状変形が生じた。

本実施例では、バッファ層およびコア層とクラッド層の $P_2O_5$ と $B_2O_3$ の総量差が本発明の範囲である4モル%から25モル%となるように形成することによりコア部に変形を与えることなく、かつバッファ層と屈折率を一致させたクラッド層

タ法で形成し、本実施例と同様にクラッド層の形成を行なったが、本実施例と同様な結果となった。また、バッファ層とコア部のガラス膜の形成をスパッタ法、CVD法および火炎堆積法の組み合わせにより形成を行なったが、本実施例と同様な結果となった。

#### (実施例3)

実施例1では、バッファ層およびコア部とクラッド層の軟化温度差の範囲にコア部のドーパントとして $TiO_2$ を用いたが、 $GeO_2$ を用いても石英系光導波路の作製は可能である。以下工程順に条件を説明する。

第2図(a)シリコン基板11上に $SiCl_4$ を主成分とするガラス形成原料ガスの火炎加水分解反応によりバッファ層形成用ガラス微粒子層12a、コア層形成用ガラス微粒子層13aを順次堆積する。

このバッファ層ガラスには、ドーパントとして $B_2O_3$ が4モル%、 $P_2O_5$ が1モル%が含まれており、コア層ガラスには屈折率制御のために、

それに加えてGeO<sub>2</sub>が4モル%含まれている。

(b) そのガラス微粒子膜を基板とともに電気炉中で1320℃で加熱により透明ガラス化して、バッファ層12b、コア層13bからなる石英系光導波膜とする。透明ガラス化温度は1270℃である。

(c) コア層13bの不要部分を反応性イオンエッチングで除去して、リッジ状のコア部13cを形成する。

(d) コア部13cを覆うようにバッファ層と同等の屈折率を有するクラッド層14を形成する。

クラッド層形成には、再度、クラッド層形成用ガラス原料ガスの火炎加水分解反応によりクラッド層形成用ガラス微粒子膜を堆積し電気炉中にて1200℃でガラス化を行なう。このクラッド層ガラスには、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が10モル%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が2モル%が含まれ、透明ガラス化温度は1150℃である。本実施例では、コア部に変形を与えることなく、バッファ層の屈折率と一致させたクラッド層の形成が可能である。

このGeO<sub>2</sub>は、TiO<sub>2</sub>に比べて石英系ガラ

スの光伝搬損失を下げることが知られており、石英系光導波路の損失を低減するのに有効なドーパントである。ΔTを200℃～450℃になるようにクラッド層を形成することで、本発明による軟化温度差の光導波路が製造できる。すなわち、コア部の変形を防止できる。実施例1で述べたように、ΔTが250から400℃となる条件で形成することがより適している。

コア部のガラス組成がSiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>系、およびSiO<sub>2</sub>-GeO<sub>2</sub>系の二例について、本発明の構成・作用を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、たとえば、コア部にTiO<sub>2</sub>とGeO<sub>2</sub>を同時に含む埋込み型石英系光導波路とその製造方法も対象範囲に含まれることを指摘しておく。

また、基板としてシリコンを用いて形成した導波路について本発明の構成・作用を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、例えば、石英基板やサファイア基板上に形成した埋込み型石英系光導波路とその製造方法も対象範囲に

含まれることをも指摘しておく。

#### (発明の効果)

これまで説明したように、本発明は、バッファ層およびコア層のガラスに比べて低温で形成できるクラッド層ガラスに用いた埋込み型石英系光導波路により、従来に比べて素子のファイバ挿入損失を低減し、導波理論に基づく最適設計が可能にするなど石英系光導波路型素子の性能向上に貢献するところが大きい。

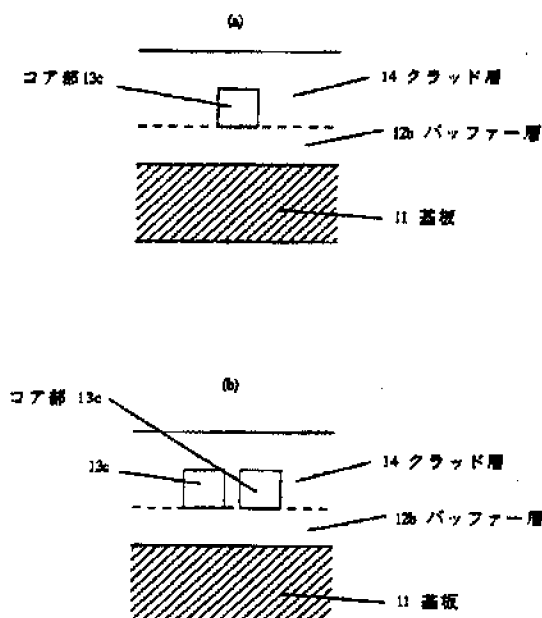
#### 図面の簡単な説明

第1図は本発明の埋込み型石英系光導波路の断面図、第2図は本発明の石英系光導波路作製工程図、第3図は本発明の石英系光導波路作製工程で用いるガラス微粒子堆積装置の構成例を示す模式図、第4図は石英系ガラスのドーパント量に対する軟化温度および透明化温度を示した図であり、第5図は従来の埋込み型石英系光導波路の断面図である。

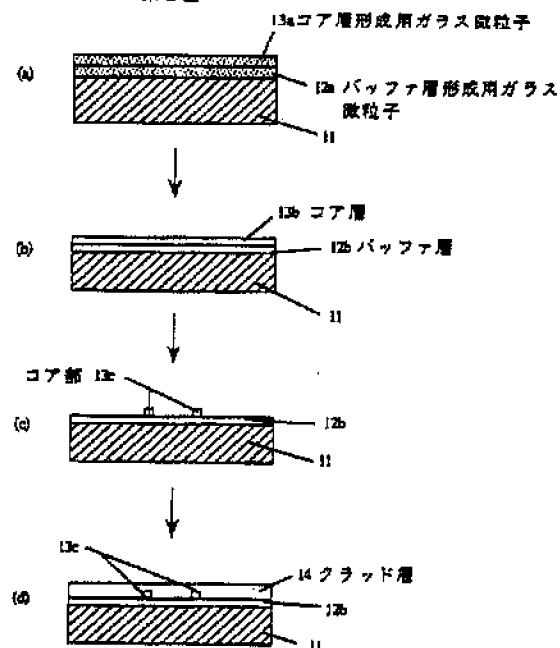
11・・・石英基板、シリコン基板あるいはサファイア基板、12a・・・石英系バッファ層形成用ガラス微粒子層、12b・・・石英系バッファ層、13a・・・石英系ガラスコア層形成用ガラス微粒子層、13b・・・石英系ガラスコア層、13c・・・石英系ガラスコア部、14・・・石英系ガラスクラッド層、21・・・タータンテーブル、23・・・テーブル駆動装置、24・・・ガラス微粒子合成トーチ、25・・・トーチ駆動装置、26・・・原料ガス供給装置、27・・・排気管、28・・・排気ガス処理装置、29・・・中央制御装置。

出願人代理人 雨宮 正幸

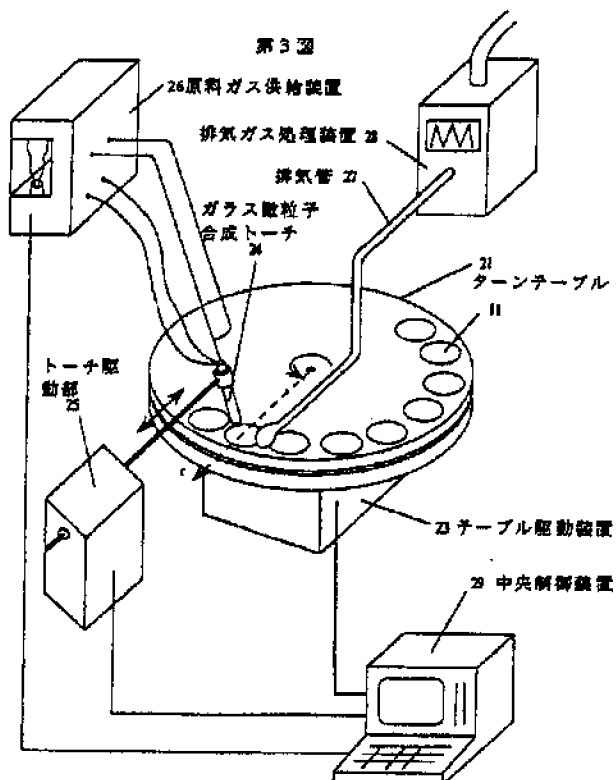
第1図



第2図

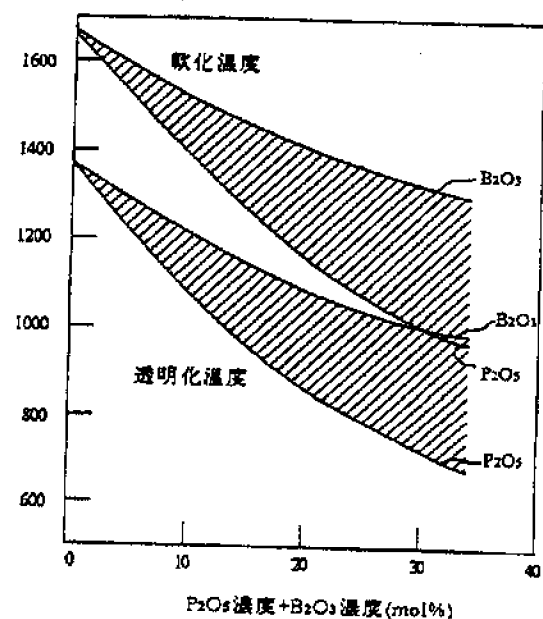


第3図



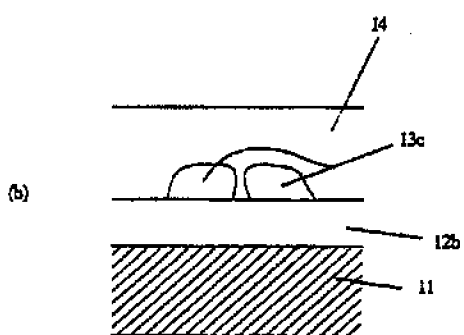
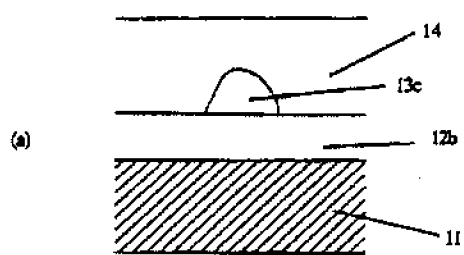
第4図

軟化温度・透明化温度





第5図



特開平3-75606

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成9年(1997)5月2日

【公開番号】特開平3-75606

【公開日】平成3年(1991)3月29日

【年通号数】公開特許公報3-757

【出願番号】特願平1-210714

【国際特許分類第6版】

G02B 6/12

6/13

【FI】

G02B 6/12

N 7036-2K

M 7036-2K

### 手続補正書(自発)

平成8年5月24日

特許庁長官 清川 倫二 殿

#### 1. 事件の表示

平成1年 特許願 第210714号

#### 2. 発明の名称

埋込み型石英系光導波路およびその製造方法

#### 3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住 所(居所) 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(平成7年10月20日住所変更済(一紙))

氏 名(名称) (422) 日本電信電話株式会社

#### 4. 代理人 〒102 TEL03(3264)3566

住 所(居所) 東京都千代田区六番町13番地5

メゾンド六番町 2階

氏 名(名称) (82/1) 弁理士 西宮 正幸

#### 5. 補正命令の日付

6. 補正の対象 明細書中「発明の詳細な説明」の欄。

7. 補正の内容 別紙のとおり。

#### 7. 内容

(1) 明細書第8頁第18行、第19行「400℃」を「450℃」と訂正する。

(2) 明細書第12頁第2行「製造方法の場合」を「製造する場合」と訂正する。

(3) 明細書第12頁第4行「生じる。」を「コアの形状が生じる。」と訂正する。

(4) 明細書第17頁第12行「通量」を「高圧」と訂正する。

(5) 明細書第21頁第10行「総量」を「総量数」と訂正する。

特許庁  
8.5.24

TRANSLATION

(Excerpt from JP-H3-75606)

What is claimed is:

1. A buried silica-based optical waveguide including a substrate, a silica-based glass buffer layer provided on the substrate, a silica-based glass core portion in a rectangular cross-sectional shape provided on the buffer layer, and a silica-based glass clad layer provided so as to bury the core portion, the buried silica-based optical waveguide being characterized in that a softening temperature of the clad layer is lower than that of the buffer layer and the core portion by a range of 200 to 450 °C.

(First Embodiment)

FIGS. 1A and 1B are cross-sectional views of a silica-based optical waveguide (for a single mode waveguide) according to the present invention. FIG. 1A is a cross-sectional view of a single rectangular waveguide, and a FIG. 1B shows a cross-sectional shape of a directional coupler in which two rectangular waveguides are caused to be adjacent to each other at an interval of a several microns. In FIGS. 1A and 1B, reference numeral 11 denotes a silicon substrate; 12b, a silica-based glass buffer layer; 13c, a silica-based glass core portion; and 14, a silica-based glass clad layer.

A thickness of the buffer layer is 20  $\mu\text{m}$ , and a cross-sectional shape of the core portion is 6  $\mu\text{m}$  x 6  $\mu\text{m}$ . A difference  $\Delta$  in relative refractive indexes between the core portion and the buffer layer, and between the core portion and the clad layer, is adjusted at 0.7 %, and the refraction indexes of the buffer layer and clad layer are equal to each other. A film thickness of the clad layer is 30  $\mu\text{m}$ .

FIG. 3 is a schematic diagram showing one example of a configuration of a device in which glass particles are deposited on the silicon substrate. Reference numeral 21 denotes a turn table; 11, a silicone substrate placed on the turn table; 23, a table driving device; 28, an exhaust gas processing device; and 29, a central control unit. This device supplies a frit gas, which essentially contains of  $\text{SiCl}_4$  and an acid/hydrogen gas, from a source gas supplying device 26 to a glass particle synthesizing torch 24. The device synthesizes glass particles essentially containing  $\text{SiO}_2$ , by means of flame hydrolysis reaction of the frit gas in oxyhydrogen flame at a tip end of the torch, the glass particles being deposited on the silicon substrate placed on the turn table, or on the substrate on which a silica-based optical waveguide circuit in a ridge shape is formed.

FIG. 2 is a process chart for describing one example of a method of manufacturing a clad layer of a silica-based optical waveguide according to a second embodiment. In FIG. 2,

reference numeral 11 denotes a silicon substrate; 12a, a glass particle layer for forming a quartz buffer layer; 12b, a silica-based glass buffer layer; 13a, a glass particle layer for forming a quartz core layer; 13b, a silica-based glass core layer; 13c, a silica-based glass core portion; and 14, a silica-based glass clad layer.

Conditions will be described below in the sequence of process.

(a) The glass particle layer 12a for forming a buffer layer and the glass particle layer 13a for forming a core layer essentially containing of  $\text{TiO}_2$  are sequentially deposited on the substrate 11 by means of flame hydrolysis reaction of a frit gas essentially containing of  $\text{SiCl}_4$ .

(b) The glass particle films are heated together with the substrate at  $1350^\circ\text{C}$  in an electric furnace, and are formed to be a silica-based waveguide film consisting of the buffer layer 12b and the core layer 13b. Each of the silica-based glass buffer layer and the silica-based glass core layer is formed so as for a softening temperature thereof to be  $1300^\circ\text{C}$ .

(c) An unnecessary portion of the core layer 13b is removed by reactive ion etching to form the core portion 13c in a ridge shape.

(d) The silica-based glass clad layer 14 having a refraction index, which is equivalent to that of the buffer layer, is formed so as to cover the core portion 13c.

As for formation of the clad layer, the glass particle layer for forming the clad layer is deposited again by flame hydrolysis reaction of the frit gas for forming the clad layer, and is then heated in the electric furnace to form the clad layer 14. The formation is carried out at a softening temperature of the clad layer in a range of 800 to 1200 °C. When the softening temperature of the clad layer is in a range of 850 to 1100 °C, a waveguide having a shape of FIG. 1 is formed. When the softening temperature of the clad layer is in a range of 800 to 850 °C, there is a possibility of causing crazing and flaking in the clad layer glass. In addition, when the softening temperature is in a range of 1150 to 1200 °C, shape distortion of a waveguide shown in FIG. 5 is caused.

In the present embodiment, difference in the softening temperatures of the clad layer respectively with the buffer layer and the core layer is set in a range of 200 to 450 °C, which is the range according to the present invention. Accordingly, the clad layer is formed without causing the shape distortion of the core portion, and with a refraction index equal to that of the buffer layer.

In the present embodiment, the refraction indexes of the buffer layer and that of the clad layer are caused to be consistent. However, the clad layer can be formed without causing the distortion of the core portion even under a condition that value of the refraction index of the buffer layer and that

of the clad layer are not consistent.

Regardless of a relative refractive difference  $\Delta$  between the buffer layer and the core layer, or between the core layer and the clad layer, the clad layer can be formed without causing the shape distortion of the core portion.

In a case where the glass softening temperature of the core portion is lower than that of the buffer layer, a difference in the glass softening temperature of the core portion and that of the clad layer is set to be the lower limit of the present invention, and a difference in the glass softening temperature of the buffer layer and that of the clad layer is set to be the upper limit. In addition, in a case where the glass softening temperature of the core portion is higher than that of the buffer layer, a difference in the softening temperature of the buffer layer and that of the clad layer is set to be the lower limit of the present invention, and a difference in the softening temperature of the core layer and that of the clad layer is set to be the upper limit.

When a heating temperature of the glass particle film of the clad layer is equal to, or more than a transparency temperature, loss of the waveguide is substantially the minimum value. However, scattering loss is slightly present due to inconsistency of an interface of the clad layer with the respective interfaces of the buffer layer and of the core layer. To moderate this, it is preferable that a heating temperature

be increased by about 50 °C than the transparency temperature of the glass particle film of the clad layer. Moreover, to form a further low-loss waveguide, a transparent temperature difference  $\Delta T$  is set to be 250 °C or more so that distortion is absent. Thus, the above condition is more suitable for forming a low-loss waveguide. It is desirable that consideration be made for a heating temperature so that the heating temperature is not too suitable for the transparency temperature of the glass particle film for the clad layer.

In addition, in a case where a formation condition of the clad layer is set so that a transparency temperature difference  $\Delta T$  is large, there is a case where a large amount of  $P_2O_5$  or  $B_2O_3$ , which decreases a softening point, is doped in the clad layer in comparison with the buffer layer and the core portion.  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  are dopants which increase thermal expansion coefficient of silica-based. In a case where a glass composition including a several tens of mol% or more is formed, there is a case where the thermal expansion coefficient thereof is larger than the thermal expansion coefficient of silicon substrate, and this may cause crazing in the clad layer. As described above, it is desirable that the heating temperature of the glass particle film for the clad layer is set higher than a transparency temperature by about 50 °C. However, as to the glass film having  $\Delta T$  at a temperature around 450 °C, stress on the clad layer is increased in a case where the heating



temperature is set higher than a transparent vitrifying temperature. Thereby, there is a possibility of causing crazing in the clad layer by a manufacturing process of a heater or the like after forming a buried waveguide. Hence, considering reliability, it is desirable that  $\Delta T$  be set to be 400 °C or less. In addition, since  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  are dopants which have a liquid absorption characteristic, weather resistance is caused to be deteriorated. It is desirable, therefore, that content thereof in glass be controlled.

In the present embodiment, a transparency temperature difference  $\Delta T$  in the glass particle film of the buffer layer and that of the core portion is set to be 220 °C. Accordingly, it is understood that the buried silica-based optical waveguide according to the present invention can be manufactured by forming the buried silica-based optical waveguide under a condition that the transparency temperature difference  $\Delta T$  of the clad layer is 200 to 450 °C. Specifically, a silica-based optical waveguide can be formed without causing distortion in the core portion. However, considering further low-loss and increased reliability, it is more suitable to carry out the formation at the  $\Delta T$  in a range of 250 to 400 °C.

As described above, in the present embodiment, detailed description has been given for a silica-based optical waveguide manufactured by the flame hydrolysis deposition method. As is obvious from the forgoing, since the nature of the present

invention is attributable not to the manufacturing method, but to a materiality of glass (softening temperature difference), the similar description is applicable to a silica-based optical waveguide manufactured by another method. In this event, glass film of the buffer layer and that of the core portion are formed by means of the CVD method and the sputtering method so that the softening temperature is 1300 °C. The clad layer is then formed in a similar manner to that of the present embodiment. A result thereof is similar to the present embodiment. In addition, formation of glass film of the buffer layer and that of the core portion is carried out by use of a combination of the sputtering method, the CVD method, and the flame hydrolysis deposition method. A result thereof is similar to the present embodiment.

(Second Embodiment)

The silica-based optical waveguide in a ridge shape is formed by the flame hydrolysis deposition method so as to have the same configuration with that of the first embodiment, and a total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of a buffer layer and of a core portion is 4 mol% by means of the same manufacturing process as that of the first embodiment. The clad layer is formed with a total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  ranging from 6 to 32 mol%.

When the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the clad layer is in a range of 8 to 29 mol%, a waveguide having the shape of FIG. 1 is formed.

When the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the clad layer exceeds 29 mol% but does not exceed 32 mol%, there is a possibility of causing crazing and flaking in clad layer glass. When the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the clad layer is from 6 mol% to less than 8 mol%, the shape of the waveguide shown in FIG. 5 is distorted.

In the present embodiment, the clad layer is formed without causing distortion in the core portion, and with a refraction index equal to that of the buffer layer by forming the clad layer so that a difference in the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  between the clad layer and the buffer layer, and between the clad layer and the core layer, is 4 to 25 mol%, which is the range according to the present invention.

In the present embodiment, the refraction indexes of the buffer layer and that of the clad layer are caused to be consistent. However, the clad layer can be formed without causing distortion of the core portion even under a condition that value of the refraction index of the buffer layer and that of the clad layer are not consistent. Regardless of a relative refraction index difference  $\Delta$  between the buffer layer and the core layer, or between the core layer and the clad layer, formation of a clad layer is made possible without causing distortion of the core portion.

In a case where the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the glass composition of the core portion and the glass composition

of the clad layer is smaller than a difference in the total amount of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the clad layer and of the buffer layer, a total amount difference of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the core portion and of the clad layer is set to be the lower limit of the present invention, and the total amount difference of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the buffer layer and of the clad layer is set to be the upper limit. In addition, when the total amount difference of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the core portion and of the clad layer is larger than the total amount difference of those of the clad layer and of the buffer layer, the total amount difference of  $P_2O_5$  and  $B_2O_3$  of the buffer layer and the clad layer is set to be the upper limit.

Glass film of the buffer layer and that of the core portion are formed by the CVD method and the sputtering method so as for a softening temperature to be 1300 °C. In addition, formation of the clad layer is carried out in a similar manner to that of the present embodiment, and a result similar to the present embodiment is obtained. In addition, formation of the glass films of the buffer layer and that of the core portion is carried out by use of a combination of the sputtering method, the CVD method and the flame hydrolysis deposition method. A result thereof is similar to that of the present embodiment.

(Third Embodiment)

In the first embodiment,  $TiO_2$  is used as a dopant of the core portion in a range of a difference in softening temperatures

between the clad layer and the buffer layer, and between the clad layer and the core portion. Meanwhile,  $\text{GeO}_2$  can also be used for manufacturing a silica-based optical waveguide. Conditions will be described below in the sequence of process.

FIG. 2(a) The glass particle layer 12a for forming the buffer layer and the glass particle layer 13a for forming the core layer are sequentially deposited on the silicon substrate 11 by flame hydrolysis reaction of a glass forming source gas essentially containing of  $\text{SiCl}_4$ .

The buffer layer glass contains 4 mol% of  $\text{B}_2\text{O}_3$  and 1 mol% of  $\text{P}_2\text{O}_5$  as dopants. In addition, the core layer glass contains 4 mol% of  $\text{GeO}_2$  in order to control a refraction index.

(b) This glass particle films are heated together with the substrate at  $1320^\circ\text{C}$  in the electric furnace to be transparent glass, which is to be a silica-based optical waveguide film consisting of the buffer layer 12b and the core layer 13b. A temperature, at which transparent glass is formed, is  $1270^\circ\text{C}$ .

(c) An unnecessary portion of the core layer 13b is removed by the reactive ion etching to form the core portion 13c in a ridge shape.

(d) The clad layer 14 having a refraction index, which is equivalent to that of the buffer layer, is formed so as to cover the core portion 13c.

As for formation of the clad layer, the glass layer for forming the clad layer is deposited again by the flame hydrolysis

reaction of the frit gas for forming the clad layer, and vitrification is carried out at 1200 °C. This clad layer glass contains 10 mol% of  $B_2O_3$  and 2 mol% of  $P_2O_5$ , and a temperature at which transparent glass is formed, is 1150 °C. In the present embodiment, the clad layer, which has a refraction index equal to that of the buffer layer, can be formed without causing distortion in the core portion.

It has been known that this  $GeO_2$  decreases optical propagation loss of silica-based glass in comparison with  $TiO_2$ , and that the  $GeO_2$  is an effective dopant for decreasing the loss of silica-based optical waveguide. An optical waveguide with a softening temperature difference according to the present invention can be manufactured by forming the clad layer so as for the  $\Delta T$  to be 200 to 450 °C. That is, the distortion of the core portion can be prevented. As described in the first embodiment, formation carried out under a condition that the  $\Delta T$  is 250 to 400 °C is more suitable.

The configurations and effects of the present invention have been described with respect to the two embodiments, in which glass compositions of the core portion are respectively  $SiO_2$  and  $TiO_2$ , and  $SiO_2$  and  $GeO_2$ . However, the present invention is not limited to the above two embodiments. For example, it is pointed out that a scope of subject matters of the present invention includes a buried silica-based optical waveguide which simultaneously contains  $TiO_2$  and  $GeO_2$  in the core portion, and

a manufacturing method thereof.

In addition, the description of the configurations and effects of the present invention has been given for a waveguide formed by using silicon as a substrate. However, the present invention is not limited to the above description. For example, it is also pointed out that a scope of subject matters of the present invention includes a buried silica-based optical waveguide, which is formed on a quartz substrate or a sapphire substrate, and a manufacturing method thereof.